

Grzegorz Demusiak
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Nowe metody kontroli szczelności sieci i instalacji gazu ziemnego, z wykorzystaniem ręcznych detektorów laserowych do zdalnego wykrywania wycieków metanu

Metody wykrywania wycieków gazu ziemnego

Skuteczne wykrywanie wycieków gazu z sieci i instalacji gazowych stanowi jedno z najważniejszych zadań służb eksploatacyjnych; zarówno w systemie przesyłu, jak i dystrybucji gazu [3]. Wynika to z konieczności zapewnienia bezpieczeństwa transportu i dystrybucji paliwa gazowego oraz dążenia do zmniejszania strat gazu, które negatywnie wpływają na wyniki finansowe przedsiębiorstw gazowniczych, jak również potrzeby ograniczenia emisji metanu ze względu na wymagania ochrony środowiska, związane z narastającą obawą o dalsze pogłębianie się efektu cieplarnianego. Jest to zadanie trudne i czasochłonne, m.in. ze względu na rozległość systemu gazowniczego; np. obecnie w kraju eksploatowanych jest około 10 000 km sieci gazowej przesyłowej (po przekazaniu części sieci gazowej wysokiego ciśnienia do systemu dystrybucji gazu w 2007 roku) i ponad 110 000 km gazociągów dystrybucyjnych (nie licząc przyłączy gazowych).

Do tej pory, w kraju i na świecie, zazwyczaj kontrolę szczelności sieci przesyłowej i dystrybucyjnej gazu ziemnego wykonuje się przy użyciu przenośnych i przewoźnych detektorów metanu. Stosunkowo często używane są też urządzenia wyposażone w detektor płomieniowo-jonizacyjny FID, chociaż szeroko stosowane są także detektory z czujnikami katalitycznymi i półprzewodnikowymi. Detektory te pozwalają na dokonanie pomiaru stężenia metanu w powietrzu jedynie miejscowo, po wprowadzeniu sondy detektora bezpośrednio w obszar chmury wycieku. W ostatnich latach szczególnie często stosowane są

urządzenia wyposażone w detektor płomieniowo-jonizacyjny, pozwalające na pomiar stężenia metanu w powietrzu nawet na poziomie tak niskim, jak 1 ppm (*parts per million* – części na milion). Są to urządzenia sprawdzone, przydatne w codziennej praktyce gazowniczej, pozwalające na wykrywanie nawet niewielkich wycieków gazu; zarówno w częściach naziemnych, jak i podziemnych sieci i instalacji gazowych, zwykle przy użyciu tzw. sond dywanowych, wykonanych ze specjalnie ukształtowanych mat neoprenowych, przesuwanych na specjalnym dwukołowym wózek tuż nad powierzchnią ziemi lub tzw. sond dzwonowych, ukształtowanych w postaci elastycznego stożka. Jednak podstawowym ograniczeniem tego typ urządzeń jest brak możliwości dokonania kontroli szczelności sieci lub instalacji gazowych w miejscach niedostępnych dla operatora, a miejsc takich – jak wykazuje praktyka gazownicza – jest wiele i może to być spowodowane różnymi okolicznościami, często trudnymi do wyeliminowania. Wtedy pozostaje albo ponawianie prób – co jest kosztowne i pracochłonne – albo podjęcie ryzyka, że pewna część gazociągów, obiektów systemu i instalacji gazowych może pozostać nieskontrolowana – co może być potencjalnie niebezpieczne i powodować powstawanie wymiernych strat finansowych, a także wpływać niekorzystnie na stan środowiska. Metan jest bowiem bardzo szkodliwym gazem cieplarnianym, powodującym występowanie tego efektu w stopniu 23-krotnie silniejszym niż dwutlenek węgla – gaz najbardziej powszechnie wiązany z tym problemem,

jako niekorzystnym ekologicznie efektem działalności człowieka.

Podstawową wadą metody wykrywania wycieków metanu przez dokonywanie pomiaru jego stężenia w powietrzu atmosferycznym pobieranym z nad gazociągu lub w powietrzu glebowym odsysanym z otworu wykonane go poprzez szpilkiwanie gruntu (przy lokalizacji źródła wycieku) jest jej czaso- i pracochłonność. Coraz częściej w praktyce gazowniczej (przede wszystkim w systemach dystrybucji gazu) wykorzystywane są bardziej rozbudowane układy detekcyjne montowane w samochodach, wyposażone zwykle w detektory FID, zaś w systemach przesyłu gazu prowadzi się kontrolę trasy gazociągu z powietrza, przy wykorzystaniu śmigłowców. Podczas oblotu trasy gazociągu, pracownik służb eksploatacyjnych firmy gazowniczej kontroluje, czy na powierzchni ziemi można zaobserwować ślady wycieków gazu wywołujące zakłócenia w wegetacji roślin – objawiające się ich żółknięciem lub brązowieniem. Istotną wadą kontroli wzrokowej stanu wegetacji roślin w rejonie gazociągu jest jej dość ograniczona skuteczność (wykrywane są głównie wycieki duże i średnie, a rzadko małe), wysoki koszt (wynikający przede wszystkim z wysokich kosztów przelotu helikopterem), konieczność dysponowania doświadczonymi obserwatorami oraz niska skuteczność tej metody przy stosowaniu jej w okresie od późnej jesieni do wczesnej wiosny, gdy zwykle w naszej strefie klimatycznej nie ma wegetacji roślin lub jest ona mocno ograniczona.

Stosowane są również, choć rzadziej, inne metody kontroli, m.in.: monitoring gleby, monitoring akustyczny oraz monitorowanie przepływu gazu w sieci z wykorzystaniem metod modelowania matematycznego. Jednak również i te metody wykazują szereg niedogodności; są albo pracochłonne lub drogie, albo niezbyt skuteczne (duża ilość fałszywych alarmów i ograniczone możliwości określenia dokładnej lokalizacji wycieku) [1–3, 15, 19].

Od kilku lat w gazownictwie światowym są opracowywane i stopniowo wprowadzane do praktyki nowe metody wykrywania wycieków metanu, z zastosowaniem systemów laserowych. Metody laserowe pozwalają na zdalne wykrywanie wycieków metanu – w przypadku urządzeń ręcznych lub montowanych na samochodach są to odległości rzędu kilkudziesięciu metrów (zwykle do około 30 m), a dla systemów lotniczych – do kilkuset metrów (najczęściej od około 40 do 100 m w przypadku helikopterów i 300–600 m w przypadku samolotów) [3, 5, 6]. Możliwość detekcji metanu na odległość, bez konieczności wprowadzania sondy detektora bezpośrednio w chmurę wycieku (jak ma to miejsce dotychczas w przypadku detektorów tradycyjnych) stanowi

olbrzymią zaletę metod laserowych. Dzięki temu, przy bardzo krótkim czasie wykonywania pojedynczego pomiaru możliwe jest przyspieszenie przebiegu kontroli szczelności gazociągu i objęcie nią znacznie większego obszaru – także w rejonach niedostępnych lub trudno dostępnych dla operatorów pieszych, używających konwencjonalnych detektorów metanu, a w przypadku bardziej zaawansowanych metod lotniczych można mówić wręcz o tzw. skanowaniu laserowym trasy gazociągu. Detektory ręczne nie pozwalają na uzyskiwanie tak dużych wydajności kontroli szczelności sieci gazowej jak systemy przewożne montowane na samochodach, czy też systemy lotnicze, ale są jednocześnie od nich zdecydowanie tańsze, a przez to znacznie łatwiej dostępne; inny jest też zakres ich zastosowania.

Podstawową zaletą tego typu detektorów jest możliwość wykrywania nawet stosunkowo niskich stężeń metanu, rzędu kilku, kilkudziesięciu ppm, ze znacznej odległości. W omawianym przypadku jest to zwykle nominalnie zakres do 30 m, jednak w praktyce wielkość ta jest zależna od warunków dokonywania pomiaru. Teoretycznie pozwala to na istotne zwiększenie efektywności kontroli szczelności sieci i instalacji gazowych, poprzez umożliwienie wykrywania wycieków gazu na odległość, bez potrzeby zbliżania się do miejsc występowania nieszczelności; możliwe jest np. wykrywanie wycieków gazu z przyłączy zlokalizowanych po drugiej stronie ulicy, czy też skanowanie kontrolowanego terenu nie tylko w poszczególnych punktach – jak ma to miejsce w przypadku zastosowania sondy punktowej albo dzwonowej, względnie w sposób ciągły, wzdłuż linii wyznaczającej trasę gazociągu (w przypadku zastosowania sondy dywanowej) – ale także w postaci pasa terenu o wybranej szerokości, gdy kontrolę badanego obszaru prowadzi się przemieszczając się wzdłuż gazociągu, w połączeniu z jednoczesnym ruchem omiatającym wiązki laserowej prowadzonej w płaszczyźnie poziomej (krzywa w postaci połączonych ze sobą kolejnych liter „S”) [3, 4, 12].

Zalety nowego typu detektora są szczególnie istotne przy konieczności dokonywania kontroli szczelności sieci lub instalacji gazowych wówczas, gdy występują utrudnienia, bądź wręcz brak jest możliwości dostępu do badanego obszaru. Dotyczy to np. zamkniętych posesji czy obszarów upraw w okresie wegetacji (gdy ze względu na konieczność ich ochrony jest niezbędne i często kłopotliwe uzgadnianie z właścicielem danego terenu terminów przeprowadzenia takich kontroli oraz prowadzenia ewentualnych prac remontowych), a także wysokich, trudno dostępnych pomieszczeń, wąskich kanałów instalacyjnych, gazociągów podwieszanych pod przęsłami mostów i wielu innych szczególnych okoliczności.

Jednak zdalne detektory wycieków metanu nie są całkowicie pozbawione pewnych – istotnych z punktu widzenia użytkownika – ograniczeń. Jednym z najważniejszych jest fakt, że są to obecnie urządzenia wyraźnie droższe

od urządzeń tradycyjnych, np. w porównaniu z szeroko używanymi (także w Polsce) tradycyjnymi detektorami z czujnikiem płomieniowo-jonizacyjnym (np. Potrafid – firmy Sewerin lub ich odpowiednikami innych firm).

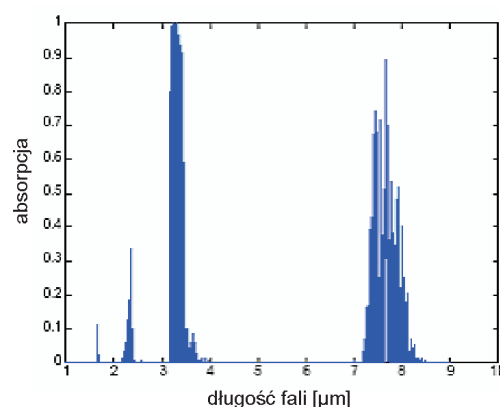
Metody laserowe zdalnej detekcji metanu stosowane w detektorach ręcznych

Metody laserowe zdalnej detekcji metanu należą do grupy metod optycznych, w których wykorzystuje się absorpcję promieniowania podczerwonego przez cząsteczki metanu – jest to tzw. absorpcyjna analiza spektroskopowa. Należą one jednocześnie do grupy tzw. metod aktywnych, w których stosuje się własne źródło promieniowania monochromatycznego (w przeciwieństwie do metod pasywnych, gdzie wykorzystuje się promieniowanie naturalne, słoneczne, o szerokim spektrum długości fal). Zaletą metod aktywnych – najczęściej stosowanych w układach detekcji metanu – w porównaniu z metodami pasywnymi, jest przede wszystkim ich lepsza czułość (nawet o rząd wielkości) oraz brak wpływu warunków temperaturowych chmury gazu i otoczenia na efektywność detekcji.

W metodzie absorpcyjnej analizy spektroskopowej wykorzystuje się różnicę w absorpcji dwóch fal promieniowania elektromagnetycznego, nieznacznie różniących się długością: jednej – pochłanianej przez mierzony gaz i drugiej – stanowiącej wiązkę odniesienia, leżącej poza obszarem absorpcji. Osłabienie wiązki pomiarowej w stosunku do wiązki odniesienia zależy wprost od stężenia danego składnika w badanym ośrodku (w omawianym przypadku – metanu w powietrzu) oraz drogi promieniowania. Stąd, przy przetworzeniu sygnału pomiarowego z detektora laserowego można uzyskać wynik określający tzw. gęstość kolumnową metanu w powietrzu, wyrażoną w ppm × m, stanowiącą iloczyn średniego stężenia metanu w chmurze wycieku i grubości tej chmury. Teoretycznie identyczny wynik pomiaru, równy np. 200 ppm × m, można więc uzyskać kierując detektor laserowy na większą chmurę wycieku, przykładowo o grubości warstwy 2 m i niższym średnim stężeniu metanu 100 ppm, jak i w przypadku mniejszej chmury; o grubości 1 m, ale o wyższym stężeniu metanu: 200 ppm. W rzeczywistości, przy pomiarach prowadzonych przy różnej odległości detektorów od miejsca odbicia promieniowania laserowego od przeszkody terenowej (powierzchni gruntu, budynków, drzew lub krzewów itp.) istotną rolę zaczyna już odgrywać obecność w powietrzu atmosferycznym metanu, będącego jednym z jego śladowych składników – o stężeniu około 1,6 ppm. Dlatego, np. przy pomiarze dokonywanym z większej odległości uzyskamy nieco wyższy wynik pomiaru

niż w przypadku pomiaru dokonywanego z bliska. Przy obecności na drodze promieniowania laserowego kilku wycieków następuje sumowanie iloczynów średnich stężeń metanu w każdym z wycieków i grubości ich warstwy [12].

Do identyfikacji i oznaczenia metanu wykorzystuje się analizę jego widma w podczerwieni, które przedstawiono na rysunku 1 [22]. Zwykle w pomiarach stężenia metanu w powietrzu wykorzystuje się promieniowanie elektromagnetyczne, o długościach fal rzędu: 1,6 μm, 2,3 oraz 3,3 μm.



Rys. 1. Widmo absorpcyjne metanu (100 ppm × m)

Jak już wspomniano wcześniej, w niektórych ważnych optycznych technikach pomiarowych, m.in. w technice określanej nazwą DIAL (*Differential Absorption Lidar* – czyli lider absorpcji różnicowej) stosuje się dwie długości fal promieniowania podczerwonego, przechodzące przez chmurę gazową wzdłuż tej samej drogi optycznej: jednej pochłanianej i drugiej nie pochłanianej lub pochłanianej słabo przez dany gaz [8, 17, 22]. Jest to jednak dość trudne technicznie do realizacji i stosunkowo kosztowne. Natomiast w przypadku dostępnych już komercyjnie ręcznych, zdalnych detektorów laserowych metanu LaserMethane (detektory japońskie) i RMLD (detektor amerykański), zamiast kosztownych laserów impulsowych, generujących krótkie impulsy promieniowania laserowego o dwóch wybranych długościach fal, wykorzystuje się znacznie tańsze lasery diodowe, generujące promieniowanie o modulowanej długości fali. Technika ta jest określana jako spektroskopia absorpcyjna z przestrajalnym (regulowanym)

laserem diodowym – TDLAS (*Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy*). Ułatwia to szersze wprowadzanie tych urządzeń na rynek.

Oprócz omawianych urządzeń, dostępnych jest też na rynku kilka innych ręcznych detektorów laserowych, w których stosuje się metody aktywne detekcji metanu, jednak są to mierniki wykorzystywane wyłącznie do pomiaru miejscowego, a nie zdalnego. Aby uzyskać pomiar stężenia metanu w powietrzu, czujnik takiego urządzenia należy w tym przypadku wprowadzić bezpośrednio do strefy wycieku; długość drogi wiązki promieniowania laserowego jest ściśle określona i trafia ona zawsze z nadajnika do odbiornika (stosować można także pośrednie zwierciadła, wydłużające drogę promieniowania laserowego, stanowiące element konstrukcji detektora), prze-

ciwnie niż to ma miejsce w przypadku detekcji zdalnej (zmienna droga promieniowania, odbicie promieniowania od przeszkód terenowych). Należą do nich np. niemiecki detektor Glide firmy Siemens [16, 24] (według dostępnych informacji obecnie już nie wytwarzany) oraz amerykańskie detektory: Spectra – firmy T.D. Williamson oraz DP-IR – wytwarzany przez Heath Consultants Inc. [2, 23], producenta detektora RMLD. Mierzy się w nich bezpośrednio stężenie metanu wyrażone w ppm (częściach na milion), a nie gęstość kolumnową metanu, wyrażoną w ppm \times m. Detektory miejscowe, oprócz wielu swoich zalet (w porównaniu z tradycyjnymi detektorami z czujnikiem FID), wykazują jednak także szereg ograniczeń w użytkowaniu i mają inny zakres zastosowań w porównaniu z omawianymi tu szerzej zdalnymi detektorami metanu.

Laserowe detektory metanu (*LaserMethane Detector i LaserMethane mini*)

Najstarszym zdalnym, ręcznym detektorem metanu jest LaserMethane Detector, znany też pod nazwą LaserMethane, wytwarzany od kilku lat przez japońską firmę Anritsu Corporation, oferującą trzy modele urządzeń: dwa modele starsze – najstarszy i gorzej wyposażony model SA3C05A oraz nowszy, ulepszony model SA3C06A, a także najnowszy, wytwarzany od dwóch lat zminiaturyzowany model „mini” – laserowy detektor metanu mini (*LaserMethane mini*), przystosowany do pracy w strefie zagrożonej wybuchem (posiadający certyfikat ATEX). Prace badawcze i wdrożeniowe prowadzone były wspólnie z japońską firmą gazowniczą Tokyo Gas Engineering Co. Ltd., a dystrybutorem tych urządzeń w Europie jest firma Crowcon Detection Instruments Ltd. [13, 14, 18, 19, 20, 25], posiadająca oddziały m.in. w USA, Wielkiej Brytanii i Holandii. W detektorze LaserMethane zastosowano technologię TDLAS. Źródłem promieniowania jest laser diodowy DFB z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym, emitujący promieniowanie o długości fali ok. 1,65 μ m. Teoretyczny zasięg pomiaru bez użycia retroreflektora (odbłyśnika) wynosi do 30 m, a przy użyciu retroreflektora – teoretycznie nawet do 150 m i w obu tych przypadkach jest on zależny od warunków pomiaru (w tym przede wszystkim od rodzaju powierzchni odbijającej promieniowanie, kąta odbicia promieniowania itp.). Zakres detekcji (tzw. gęstość kolumnowa CL – iloczyn średniego stężenia metanu w chmurze wycieku i grubości chmury) wynosi odpowiednio: od 100 ppm \times m do 10 000 ppm \times m – dla prostszego modelu SA3C05A i od 10 ppm \times m do 10 000 ppm \times m – dla modelu SA3C06A. Jeszcze do niedawna dla obu starszych modeli detektorów podawano zróżnicowane

dolne granice pomiarowe, wyróżniając dodatkowo tzw. krótki zakres pomiarowy, do 10 m, gdzie były one takie jak podano powyżej, natomiast dla dłuższego zakresu pomiarowego, do 30 m, parametry te były nieco gorsze. Wydaje się jednocześnie, że podany tu dłuższy zakres odległości pomiaru – do 150 m (z użyciem dołączonego do zestawu odbłyśnika, w postaci folii odbłaskowej o wielkości zbliżonej do kartki formatu A5 – warto zweryfikować w praktyce, bo w rzeczywistości z tej odległości operatorowi detektora trudno jest nawet trafić promieniem lasera wskaźnikowego (zupełnie niewidocznym w warunkach słonecznych) w cel o takich rozmiarach.

Z pozostałych ważniejszych parametrów należy podkreślić krótki czas reakcji detektora – do 0,1 sekundy; dużą zaletą jest też jego niski ciężar – 1,35 kg, natomiast istotną wadą – krótki czas pracy (3 godziny – przy wykorzystaniu dodatkowej, zapasowej baterii, a do niedawna dla standardowego zestawu, wyposażonego w jedną baterię, podawano czas tylko 1,5 godziny). Detektor ten jest stosunkowo niewielki – ma wymiary 112 \times 250 \times 248 mm. Ważnym ograniczeniem w stosowaniu detektora japońskiego jest stosunkowo wąski zakres dopuszczalnych temperatur jego pracy; od 0 do 40°C, co uniemożliwia np. wykonywanie kontroli sieci gazowej w okresie ujemnych temperatur otoczenia. Pewnym ułatwieniem w obsłudze detektora może być wyposażenie go w system celowania szczerbinka-muszka. Obecnie w Europie użytkowane są, według dostępnych informacji, dwa takie detektory: jeden w Hiszpanii, a drugi w Czechach. Zdecydowanie bardziej popularne jest to urządzenie w Japonii, w kraju producenta. W styczniu 2003 roku w Japonii użytkowano

39 sztuk tych detektorów, reklamowanych jako pierwsze przenośne, zdalne detektory na świecie, stosowane do wykrywania obecności gazu ziemnego. Obecnie, według ustnych deklaracji europejskiego przedstawiciela dystrybutora, w Japonii i na Dalekim Wschodzie eksploatuje się około 300 detektorów, jednak lista referencyjna przysłana przez przedstawiciela firmy była znacznie krótsza. Widok detektora LaserMethane przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Widok LaserMethane™ SA3C05A

Oba modele detektora LaserMethane różnią się między sobą funkcjonalnością. Starsza wersja SA3C05A, oprócz gorszych parametrów technicznych, co przedstawiono powyżej, nie pozwala na odczyt wartości stężenia metanu; brak jest wyświetlacza cyfrowego, a o wielkości wycieku informuje jedynie wydawany przez urządzenie dźwięk. Nowszy model, wyposażony w wyświetlacz ciekłokrystaliczny, pozwala na odczyt wyniku pomiaru i prezentację graficzną przebiegu zmian wskazań detektora w ostatnim okresie czasu oraz rejestrację wyników pomiaru w pamięci detektora, na karcie SD, a także przesyłanie plików z danymi do komputera za pomocą złącza RS 232. Widok tylnych ścianek obu detektorów przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Widok tylnych ścianek detektorów LaserMethane™: modele SA3C05A i SA3C06A

Urządzenie jest przeznaczone przede wszystkim do wykrywania wycieków gazu z instalacji gazowych oraz pracy w pomieszczeniach, przy niezbyt długim czasie użytkowania. W nieco mniejszym stopniu może być ono przydatne do kontroli szczelności sieci gazowych.

Na podstawie prób przeprowadzonych kilka lat temu w japońskiej firmie Tokyo Gas Co., związanych z wdrażaniem do stosowania przez służby eksploatacyjne gazowni detektora LaserMethane, stwierdzono że:

- w 10% przypadków wykryto wycieki gazu, które mogły być wykryte tylko przez LaserMethane, dzięki czemu zapobieżono 40 potencjalnym wypadkom,
- w 45% przypadków przy użyciu detektora laserowego możliwe było wykrycie wycieku szybciej niż przy zastosowaniu sposobu tradycyjnego,
- w 29% przypadków stwierdzono (upewniono się), że nie było wycieku,
- w 16% przypadków LaserMethane nie był przydatny; nie wykryto bowiem istniejącego wycieku.

Wyniki te nie są jednoznacznie pozytywne, gdyż oprócz istotnego zwiększenia szybkości detekcji wycieków metanu i wykryciu wycieków nie wykrywanych wcześniej tradycyjnym sprzętem, dość znaczna część wycieków (blisko 1/6 całości); przypuszczalnie o niewielkich wielkościach natężenia wypływu gazu, pozostałaby nie wykryta przy użyciu wyłącznie detektora laserowego. Świadczy to o tym, że zdalne detektory laserowe nie mogą obecnie w pełni zastąpić lub wyeliminować z użycia czułych, miejscowych detektorów metanu z czujnikiem płomieniowo-jonizacyjnym. Zdalne detektory laserowe metanu mogą jednak z powodzeniem być stosowane jako urządzenia uzupełniające, przydatne zwłaszcza w warunkach szczególnych.

Najnowszym detektorem japońskim, w Europie dystrybuowanym także przez firmę Crowcon (od 2008 roku) jest miniaturowy ręczny detektor metanu LaserMethane mini, przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Widok detektora LaserMethane mini

Jest on rzeczywiście mały (ma wymiary zaledwie 70 × 179 × 42 mm) i lekki – waży zaledwie 600 g. Zastosowano w nim laser diodowy nowej generacji, automatyczną

zmianę zakresu pomiarowego oraz posiada on kolorowy wyświetlacz graficzny, umożliwiający wyświetlanie (w postaci wykresu słupkowego) wyników ostatnich pomiarów, a także aktualnego wyniku pomiaru w postaci cyfrowej. Wydłużono w nim czas ciągłej pracy urządzenia bez konieczności zmiany baterii – do 5 godzin w temperaturze otoczenia 25°C oraz rozszerzono dopuszczalny zakres temperatur pracy: od -17°C do +50°C, podobnie jak detektora RMLD. Dopuszczalny zakres wilgotności względnej otoczenia wynosi od 20 do 90%, bez kondensacji wilgoci. Także i dla tego modelu detektora zadeklarowano utrzymanie stosunkowo dużego zakresu odległości pomiaru: od 0,5 do 30 m w warunkach standardowych (bez odbłyśnika) oraz do 100 m z zastosowaniem odbłyśnika. Również w tym przypadku wskazane byłoby jednak zweryfikowanie

zakresu pomiarowego urządzenia (skutecznej odległości pomiaru) w warunkach rzeczywistych. Teoretyczny górny zakres pomiaru gęstości kolumnowej metanu wynosi $99\,999 \text{ ppm} \times \text{m}$ (wskazania wyświetlacza), jednak według innych, także oficjalnych źródeł, jest to $50\,000 \text{ ppm} \times \text{m}$. Dla tego modelu detektora producent podaje dokładność pomiaru jako $\pm 10\%$. Jak wspomniano wcześniej, jedną z najważniejszych zalet tego detektora jest dopuszczenie go do pracy w strefie zagrożenia wybuchem: posiada on certyfikat ATEX – dla korpusu II 2G Ex ib op-pr/op-is IIA T1, a dla akumulatora NiMH – IIG Ex ibII A T1. Także i ten model wyposażony jest w wewnętrzną komorę pomiarową z metanem; aparat w sposób automatyczny dokonuje samosprawdzenia poprawności działania i nie wymaga zewnętrznej kalibracji.

Zdalny detektor wycieków metanu RMLD

Zdalny detektor wycieków metanu (*Remote Methane Leak Detector*) [4, 6, 9–12, 21, 23], określane najczęściej skrótem RMLD, produkowany jest seryjnie od czterech lat przez amerykańską firmę Heath Consultants Inc., będącą jednocześnie światowym dystrybutorem tego urządzenia. Konstrukcję aparatu opracowano we współpracy z amerykańskimi firmami Physical Sciences Inc. oraz NYSEARCH/NGA. Europejskim dystrybutorem detektora RMLD jest niemiecka firma Sewerin GmbH i właśnie pod tą marką urządzenie to jest sprzedawane w Europie. Przedstawicielem firmy Sewerin w Polsce jest firma Armatech, Sp. z o.o. W detektorze tym, podobnie jak w japońskim detektorze LaseMethane, także zastosowano metodę spektroskopii absorpcyjnej z przestrajalnym laserem diodowym, pracującym w zakresie bliskiej podczerwieni (TDLAS). W urządzeniu modulowana jest długość fali emitowanego promieniowania laserowego, w zakresie promieniowania absorbowanego przez metan. Z osłabienia wiązki promieniowania, po odpowiedniej obróbce sygnału elektrycznego, można określić jak duża była ilość czystego metanu w warstwie powietrza (lub ogólnie innego gazu), przez którą przechodziła wiązka promieniowania laserowego – emitowanego przez urządzenie i powracającego do detektora po odbiciu się od przeszkód terenowych.

Parametry techniczne pracy urządzenia są następujące:

- zakres pomiarowy: od 0 do $99\,999 \text{ ppm} \times \text{m}$,
- zakres detekcji: nominalnie do 30 m; zależnie od typu podłoża odbijającego promieniowanie i warunków pomiarowych,
- czułość:
 - $5 \text{ ppm} \times \text{m}$ – dla odległości do 15 m,

- $10 \text{ ppm} \times \text{m}$ – dla odległości do 30 m,
- kształt wiązki promieniowania – stożkowy, o kącie wierzchołkowym 22° (koło o średnicy 56 cm w odległości 30 m),
- warunki otoczenia:
 - temperatura pracy: od -17 do + 50°C,
 - wilgotność względna: od 5 do 95%, bez kondensacji wilgoci,
- ciężar urządzenia: całkowity – 4 kg, w tym nadajnik-odbiornik (trzymany w ręku) 1,3 kg, a część noszona na pasku na ramieniu – 2,7 kg,
- walizeczka transportowa: ciężar ok. 6,4 kg, wymiary: $86 \times 24 \times 36 \text{ cm}$,
- wewnętrzna bateria litowo-jonowa; opcjonalnie dostępna zewnętrzna bateria z 5-cioma ogniwami,
- czas pracy: 8 godzin w temperaturze 0°C (bez podświetlania wyświetlacza),
- czas odpowiedzi dźwiękowej: 0,1 s.

Urządzenie o wystąpieniu awarii ostrzega sygnałem dźwiękowym, wraz z informacją to tym wyświetlaną na ekranie. Aparat automatycznie dokonuje samosprawdzenia poprawności działania i autokalibracji, dzięki wbudowanym funkcjom testowania i kalibracji. Komora testowa jest zintegrowana z urządzeniem.

RMLD, podobnie jak detektory LaserMethane, wyposażony jest w wyjście audio – wysokość dźwięku jest związana ze stężeniem metanu w powietrzu, wyrażonym w postaci tzw. średniej gęstości kolumnowej (w $\text{ppm} \times \text{m}$), oraz wskazanie wyniku pomiaru na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym.

Urządzenie może być stosowane zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, np. do kontroli instalacji gazowych,

jak i (przede wszystkim) na zewnątrz, do kontroli sieci gazowych – tak przesyłowej, jak i dystrybucyjnej.

Widok detektora (części optycznej nadajnik-odbiornik, trzymanej przez operatora w rękę oraz układu noszonego na ramieniu) przedstawiono na rysunku 5, a widok kompletnego zestawu pomiarowego mieszczącego się w walizeczce transportowej pokazano na rysunku 6.



Rys. 5. Widok głównych elementów detektora RMLD



Rys. 6. Widok kompletnego zestawu RMLD

Według dostępnych informacji, detektor RMLD dobrze sprawdza się w praktyce gazowniczej i według doniesień zawartych w materiałach firmy Heath Consultants został nagrodzony prestiżowymi nagrodami branżowymi w USA. Obecnie, po czterech latach od uruchomienia produkcji, na świecie użytkowanych jest kilkaset takich urządzeń – głównie w USA i Kanadzie, choć także i w innych krajach Europy, Ameryki i Azji, co potwierdza przesłana nam lista referencyjna dotycząca ponad trzystu takich detektorów (marzec 2007 r.). Ich zakupów dokonują nie tylko firmy

dystrybucyjne, choć stanowią one większość wśród aktualnych użytkowników, ale także wiele firm zajmujących się przesyłem gazu; w USA są to m.in.: El Paso Energy Corporation, Northern Natural Gas, Southern Natural Gas, ANR Pipeline Company, BP America Production, Cheyenne Utilities Corp., Colorado Interstate Gas, Tennessee Gas Pipeline i inne [10, 11].

Na podstawie wyników dziewięciomiesięcznych testów (prowadzonych przez piesze zespoły kontrolne z wykorzystaniem dwóch detektorów RMLD, dokonywanych na obszarze działania siedmiu amerykańskich firm dystrybucyjnych) przedstawionych na konferencji w 2006 r. w Nowym Orleanie przez przedstawiciela firmy Physical Sciences Inc stwierdzono, że efektywność zastosowania zdalnego detektora laserowego była o ponad 25% wyższa od tradycyjnego detektora przenośnego z detektorem FID [6, 7]. W czasie testów udokumentowano wykrycie ponad 200 wycieków, a o zaletach nowego sposobu detekcji przesądzała przede wszystkim możliwość dokonania pomiaru w obszarach trudno dostępnych dla operatora.

Bardzo ciekawie prezentują się wyniki amerykańskich, niezależnych, dość nietypowych testów; wykorzystania przewoźnego detektora RMLD do wykrywania wycieków gazu ziemnego z sieci położonej na obszarze niezabudowanym, w których detektor umieszczony w samochodzie wykrywał wycieki z gazociągu biegnącego na swej dużej części w pobliżu szosy, konkurując z powodzeniem z kilkoma systemami lotniczymi (detektory montowane na dwóch samolotach i jednym helikopterze) i innym systemem pomiarowym umieszczonym na pojeździe. Dotyczy to prób przeprowadzonych na zamówienie Ministerstwa Energetyki USA, przy wsparciu finansowym m.in. Strategicznego Centrum Gazu Ziemnego i Ropy Naftowej [5–7, 11], we wrześniu 2004 r. w Górach Skalistych (*Rocky Mountains Oilfield Test Center*). Pojazd był wyposażony w GPS, używany do identyfikacji położenia miejsca wycieku gazu, oraz laserowy miernik odległości – wykorzystywany do pomiaru odległości od drogi.

Uzyskiwane wyniki wskazywały na wysoki, a w niektórych przypadkach nawet bardzo wysoki poziom stężenia metanu, ale rzeczywiście niektóre wycieki gazu – nawet te, których nie wykrywała znaczna część badanych wówczas systemów lotniczych – były dość duże, o wielkości do kilkudziesięciu m³/h. Okazało się, że system RMLD, prezentowany jeszcze w tym czasie przez firmę PSI (Physical Sciences Inc.) – twórcę urządzenia, wypadł zdecydowanie najlepiej ze wszystkich testowanych systemów. W zestawieniu końcowych wyników z testów podano, że spośród 56 wykrytych wycieków, tylko 6

wyników było fałszywie pozytywnych, a pozostałych 50 nieszczelności zostało wykrytych prawidłowo. Wykryto także pewną część wycieków, zwłaszcza tych dużych, które znajdowały się zbyt daleko, poza deklarowanym przez producenta zakresem pomiarowy (do 30 m). Jednak badane urządzenie nie okazało się całkowicie skuteczne; w deklarowanym zakresie pomiarowym wykryto 37 z 41 wycieków, które teoretycznie mogły być wykryte, czyli zdecydowaną większość, ale jednak nie wszystkie – nie wykryto bowiem 4 źródeł nieszczelności. Nigdy nie wykryto również, leżących już poza deklarowanym przez producenta zakresem pomiarowym, bardzo małych wycieków o natężeniu wypływu gazu rzędu $0,028 \text{ m}^3/\text{h}$, dla których średnie stężenie metanu w powietrzu w odległości 3 m od źródła wynosiło zaledwie 3 ppm, co odpowiadało gęstości kolumnowej metanu poniżej $10 \text{ ppm} \times \text{m}$, tj. wartości granicznej przyjmowanej dla detektora. Nie wykrywał ich jednak także żaden inny badany system, zaś część źródeł wycieków była niedostępna dla pro-

mieniowania, emitowanego z detektora umieszczonego w pojeździe poruszającym się po drodze, ze względu na niekorzystne ukształtowanie terenu (brak widoczności danego punktu z szosy). Dla prawidłowego wykrywania wycieków przez RMLD konieczne było również, by za chmurą gazu znajdowała się przeszkoda terenowa, od której promieniowanie lasera mogłoby się odbić.

Wyniki prób pozostałych systemów detekcji metanu, w tym także bardzo drogie i rozbudowanych systemów lotniczych, były znacznie gorsze, jednak od tego czasu znaczna część systemów lotniczych została udoskonalona, pojawiły się też nowe rozwiązania i są one obecnie zdecydowanie bardziej efektywne, a prace nad innymi nieefektywnymi rozwiązaniami zostały przerwane.

Omawiane urządzenie może być stosowane zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, np. do kontroli instalacji gazowych, jak i przede wszystkim na zewnątrz, do kontroli sieci gazowych – tak przesyłowych, jak i dystrybucyjnych.

Uwagi ogólne dotyczące specyfiki zastosowania zdalnych detektorów wycieków metanu do kontroli szczelności sieci i instalacji gazowych

Jednym z utrudnień przy stosowaniu metody zdalnej detekcji metanu do wykrywania wycieków gazu ziemnego z sieci gazowych i obiektów systemu gazowniczego mogą być komplikacje związane z nagłą zmianą odległości skanowania, które występują wtedy, gdy bliższy obiekt jest wyraźnie na pierwszym planie, a dopiero w dużej odległości za nim znajduje się inna przeszkoda terenowa, od której następuje odbicie promieniowania laserowego powracającego do detektora. Może to powodować występowanie fałszywego alarmu nawet wówczas, gdy w rzeczywistości wycieku gazu nie ma.

Należy również unikać, jeśli jest to możliwe, wykonywania pomiarów przy dużych odległościach od obiektu. Na przykład detektor RMLD ma rzeczywiście zasięg pomiarowy rzędu 30 m, natomiast przy dalszej odległości od źródła wycieku pomiar jest mniej dokładny, bowiem coraz większą rolę odgrywa wtedy metan zawarty w czystym powietrzu, przez co trudniej jest wykryć mały wyciek gazu. Dużym utrudnieniem jest także to, że w słoneczny dzień punkt oświetlany przez laser wskaźnikowy jest słabo widoczny – i to już przy odległościach rzędu 10–15 m (zdecydowanie lepiej jest w dzień pochmurny). Pewnych kłopotów detektor może dostarczać też przy kontroli szczelności małych obiektów, gdyż występuje tzw. paralaksa obu laserów: wskaźnikowego i pomiarowego, i należy brać odpo-

wiednią poprawkę na oddalenie od siebie osi optycznych obu tych laserów.

W przypadku detektorów japońskich z serii LaserMethane mogą natomiast wystąpić istotne trudności z dokonywaniem pomiarów z dużej odległości, rzędu 30 m. Jeszcze trudniejsze jest prowadzenie pomiarów z bardzo dużych odległości (odpowiednio rzędu 100 i 150 m) – dla pomiarów z użyciem odbłyśnika. Promień lasera wskaźnikowego jest w przypadku detektorów japońskich jeszcze słabiej widoczny, niż w przypadku detektora RMLD.

Przy wykrywaniu wycieków gazu bardzo ważne jest odpowiednie usytuowanie detektora względem chmury wycieku; należy zawsze starać się być na linii wiatru – tak, by droga promieniowania laserowego była jak najdłuższa, dzięki czemu sygnał pomiarowy będzie największy.

Ważne jest by zawsze kontrolować, czy promień powracający do detektora jest odpowiednio silny. Detektory sygnalizują wystąpienie takiego problemu sygnałem akustycznym. Przy zbyt niskim natężeniu promieniowania pomiar jest niemożliwy i można pominąć w ten sposób rzeczywisty wyciek. Niektóre powierzchnie, zwłaszcza ciemne, o nierównej teksturze, mogą silnie pochłaniać promieniowanie; nie da się również prowadzić pomiarów gdy promień lasera kierowany jest w wolną przestrzeń, gdzie za badanym obiektem nie ma żadnej przeszkody terenowej.

Jak stwierdzono wcześniej, najważniejszą zaletą zdalnych detektorów metanu w zastosowaniu ich do kontroli szczelności sieci i instalacji gazowych jest właśnie możliwość dokonywania pomiarów na odległość, bez konieczności wchodzenia operatora urządzenia na dany teren. Czasami umożliwia to przeprowadzenie prób, które w innych okolicznościach, w terenie niedostępnym dla operatora, nigdy nie mogłyby być wykonane. W wielu sytuacjach pozwala to także na przyspieszenie prowadzonych prac.

Istotnym ograniczeniem w szerokim stosowaniu zdalnych detektorów metanu; zarówno LaserMethane (z wyłączeniem najnowszego detektora LaserMethane mini), jak i RMLD, jest fakt, że są one urządzeniami, które nie mają dopuszczenia do pracy w strefie zagrożenia wybuchem (Ex) i nie odpowiadają wymaganiom ATEX. Jest to ważne – zwłaszcza dla stacji redukcyjnych I stopnia i np. tłoczni gazu, gdy trudno jest dokładnie kontrolować dany obszar nie wchodząc do niego. Dla stacji gazowych II stopnia jest to mniej ważne, ze względu na wyraźnie mniejszy zasięg strefy zagrożenia wybuchem i istniejącą także w tym przypadku możliwość dokonywania pomiaru spoza strefy niebezpiecznej. Innym czynnikiem hamującym szersze rozpowszechnienie zdalnych detektorów metanu będzie zapewne, jak już wspomniano wcześniej, ich stosunkowo wysoki koszt, choć ceny poszczególnych urządzeń są zróżnicowane. Są one jednak ogólnie wyraźnie droższe od typowych przenośnych detektorów z detektorem FID.

Pomimo istniejących ograniczeń i tego, że urządzenia te są obecne na rynku od stosunkowo niedawna, zdalne detektory laserowe metanu – a dotyczy to zwłaszcza amerykańskiego detektora RMLD – zdobyły już trwałą pozycję wśród urządzeń polecanych i stosowanych w praktyce do kontroli szczelności sieci i instalacji gazowych;

m.in. w amerykańskich i międzynarodowych programach ograniczania emisji i strat metanu *Natural Gas STAR, Methane to Market* oraz rutynowych procedurach stosowanych w czołowych światowych firmach gazowniczych [1, 2, 9, 15]. Firmy te zwiększają bezpieczeństwo przesyłu i użytkowania gazu, uzyskując jednocześnie wyraźne efekty oszczędnościowe. Poleca się je do kontroli szczelności nie tylko części liniowej, ale także obiektów systemu.

Zdalne laserowe detektory metanu są generalnie urządzeniami mniej czułymi od nowoczesnych przenośnych detektorów wyposażonych w czujnik płomieniowo-jonizacyjny, które umożliwiają wykrywanie stężenia metanu nawet na poziomie 1 ppm, co ma znaczenie zwłaszcza w systemie dystrybucji gazu, gdzie szuka się także małych wycieków – stężeń nawet na poziomie pojedynczych ppm. Poza tym, przy wyciekach podziemnych stężenie metanu w próbkach odsysanych z gruntu (sonda dzwonowa i dywanowa) może być dość wysokie, natomiast w powietrzu – bardzo niskie, zwłaszcza gdy wieje silny wiatr. Zapewne zdalne detektory metanu nie zastąpią więc w bliskim czasie urządzeń tradycyjnych, ale będą je skutecznie uzupełniać. Z pewnością warto je wdrożyć do stosowania w gazownictwie krajowym. Zamierzamy prowadzić dalsze prace w tym celu, we współpracy z wybranymi krajowymi przedsiębiorstwami gazowniczymi. Instytut Nafty i Gazu dysponuje od niedawna pierwszym w kraju detektorem RMLD, a spodziewamy się mieć możliwość porównania efektywności jego działania z wybranymi detektorami japońskimi z serii LaserMethane. Istotne jest dążenie do możliwie efektywnego wykorzystania zalet nowego sprzętu i poznanie ograniczeń jego stosowania w praktyce tak, by można było starać się przewidzieć pewne nieoczekiwane sytuacje i zminimalizować ich wpływ na rzetelność prowadzonych kontroli.

Podsumowanie

Zdalne detektory laserowe wycieków metanu, w tym RMLD firmy Heath Consultants Inc., znane w Europie pod marką firmy Sewerin, oraz japońskie detektory z serii LaserMethane firmy Anritsu Corporation, są nowymi, interesującymi urządzeniami, przydatnymi do prowadzenia kontroli sieci gazowych; zarówno przesyłowych, jak i dystrybucyjnych – przede wszystkim wszędzie tam, gdzie dostęp do rejonu wycieku gazu jest niemożliwy lub znacznie utrudniony. Są one selektywne dla metanu i nie reagują na inne gazy, natomiast przy ich użyciu nie jest możliwe wykrywanie bardzo niskich stężeń metanu w powietrzu, które z kolei można skutecznie wykrywać przy użyciu tradycyjnych, przenośnych detektorów meta-

nu z czujnikiem FID. Zdalne detektory laserowe metanu nie wyeliminują więc z powszechnego użycia detektorów tradycyjnych, ale mogą stanowić ich istotne uzupełnienie. Umożliwiają one ponadto zwiększenie wydajności kontroli sieci i instalacji gazowych. Czynnikiem hamującym ich szerokie rozpowszechnienie będzie niewątpliwie stosunkowo wysoka cena, ale – jak pokazują doświadczenia czołowych światowych firm – zakres ich stosowania niewątpliwie będzie się rozszerzać, gdyż praktyczna przydatność tych urządzeń jest wyraźnie widoczna. Ważnym ograniczeniem w ich stosowaniu w obiektach systemu gazowniczego kraju, poza miniaturowym detektorem LaserMethane mini, będzie obecnie brak dopuszczenia

do pracy w strefie zagrożenia wybuchem, co nie przekreśla jednak wysokiej przydatności tych detektorów do kontroli części liniowej, ale także i wybranych obiektów

systemu gazowniczego. Prace nad wdrożeniem w polskim gazownictwie metod laserowych zdalnej detekcji metanu powinny być kontynuowane.

Artykuł nadesłano do Redakcji 22.12.2009 r. Przyjęto do druku 15.02.2010 r.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

Literatura

- [1] Berry B.: *BTU Efficiency Teams. Using a Cross-Functional Approach and Model for Increasing Efficiency and Reducing Methane Emissions*. EPA Annual Implementation Workshop, October 25, 2006.
- [2] *Cost-effective Methane Emissions Reductions for Small and Midsized Natural Gas Producers*, Annual Implementation Workshop, October 24–26, 2005, Houston, Texas, USA.
- [3] Demusiak G., Piskowska J.: *Nowe rozwiązania techniczne w dziedzinie zdalnego wykrywania wycieków gazu z sieci przesyłowej i dystrybucyjnej gazu ziemnego*. Opracowanie INiG, niepublikowane. Warszawa 2007.
- [4] Fabiano A., Rutherford J., Chancey S. i in.: *RMLD (Remote Methane Leak Detector) Advanced Prototype to Commercial Development*. IGRC, Vancouver 2004.
- [5] Field Testing of Remote Sensor Gas Leak Detection Systems, Final Report for the Period of September 11–17, 2004; U.S. Department of Energy.
- [6] Frish M.B., Wehnert P.D.: *Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS) for Leak Detection in the Natural Gas Industry*. Portable, Mobile And Aerial Application, IGRC Paris, September 2008.
- [7] Frish M.B.: *Low-Cost Standoff Laser Sensing for Smart LDAR AWMA*. Annual conference, New Orleans, 20–23 June 2006.
- [8] Gopalsami N., Raptis A.C.: *Microvave radar sensing of Gas Pipeline Leaks*. IGRC Amsterdam, November 2001.
- [9] Informacje własne uzyskane w amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska EPA Natural Gas STAR Program
- [10] Informacje własne uzyskane w firmie Armatech S.A.
- [11] Informacje własne uzyskane w firmie Heath Consultants Inc.
- [12] Instrukcja obsługi zdalnego detektora wycieków metanu RMLD, Armatech Sp. z o.o., na podstawie materiałów firmy Heath Consultants Inc.
- [13] Iseki T.: *A Portable Remote Methane Detector Using a Tunable Diode Laser*. WGC, Tokio 2003.
- [14] Iseki T.: *LaserMethane™, A Portable Remote Methane Gas Detector*. IGRC, Vancouver 2004.
- [15] *Lessons Learned from Natural Gas STAR Partners*, Materiały szkoleniowo-informacyjne programu Natural Gas STAR.
- [16] Materiały firmy Siemens Enviromental Systems, UK.
- [17] Musioł K.: *Lidar*. Instytut Fizyki UW.
- [18] Reichardt T.A., Devdas S., Kulp T.: *Instrument for Airborne Remote Sensing of Transmission Pipeline Leaks*. State of the Art Review, 2004.
- [19] Reichardt T.A., Einfeld W., Kulp T.: *Review of Remote Detection for Natural Gas Transmission Pipeline Leaks*. 2002.
- [20] www.crowcon.com
- [21] www.heathus.com
- [22] www.laseninc.com
- [23] www.psicorp.com
- [24] www.siemens.com
- [25] www.tokyogas.com



Mgr inż. Grzegorz DEMUSIAK – absolwent Instytutu Inżynierii Chemicznej Politechniki Warszawskiej. Pracuje w Instytucie Nafty i Gazu, Oddział Warszawa na stanowisku kierownika Zakładu Oczyszczania i Uzdatniania Paliw Gazowych. Specjalność – oczyszczanie, uzdatnianie i nawanianie paliw gazowych oraz procesy i technologie stosowane w przemyśle gazowniczym.